

論文 電磁現象を用いた鉄筋曲げ加工部の非破壊検査

黒川 浩嗣^{*1}・岡本 大^{*2}・曾我部正道^{*3}・峰村 富夫^{*4}

要旨：アルカリ骨材反応による鉄筋曲げ加工部における鉄筋破断に対して、電磁現象による磁界の強さの比を利用した非破壊検査の適用性について検討した。模擬試験体においてかぶりの大きさ、鉄筋間隔、直交鉄筋などの影響を検討し、励磁コイルと磁気センサから求まる磁界の強さの比により曲げ加工部の鉄筋の破断を探查できることを確認した。また併せて鉄筋コンクリート試験体を用いた検証を行い、同様に破断部の探查を行うことができることを確認した。
キーワード：非破壊検査、鉄筋破断、電磁現象、アルカリ骨材反応

1. はじめに

近年、アルカリ骨材反応によるコンクリートの膨張が原因と考えられる構造物の鉄筋破断が報告されている。これらは主に、T型単柱式RC橋脚の軸方向鉄筋の曲げ加工部、せん断補強筋の曲げ加工部あるいは軸方向鉄筋の圧接部近傍において生じている¹⁾。図-1に鉄道橋脚における鉄筋破断の発生箇所の例を示す。

アルカリ骨材反応による鉄筋破断の検査法としては、構造物のひび割れなどの外観検査を行い、疑いのある箇所のコンクリートをはつり、鉄筋の状態を確認するといったものが一般的である。しかし、この方法では、はつり範囲が広くなり構造物への悪影響が懸念される。したがって、前述のような橋脚の維持管理を考えていく上では、鉄筋破断を簡易かつ定量的に判定できる信頼性の高い非破壊検査手法の確立が必要不可欠となる²⁾。

そこで本研究ではまず、電磁現象を利用した鉄筋破断の非破壊検査手法の概要を示し、模擬試験体を用いて各種実験条件の影響を検証した。さらに、鉄筋コンクリート試験体による検証を行い、本研究による手法の実構造物への適用性について検討した。

2. 鉄筋破断検査装置の概要

本研究では、電磁現象を利用し、電流によって生じた磁界による鉄筋の磁化の大きさを測定することにより、鉄筋の破断の有無を検出する手法を適用した。

図-2に具体的な装置の概要を示す。着目箇所を挟んで片側に励磁コイル、反対側に磁気センサ(M)を鉄筋に沿って配置する。

励磁コイルに電流を流すと磁界が発生し鉄筋が磁化される。鉄筋が磁化されたことによって発生するM部の磁界の強さ H_M (A/m)を磁気

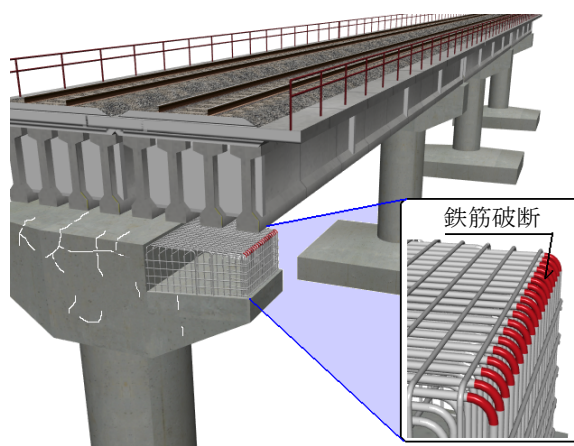


図-1 鉄道橋脚の鉄筋破断発生箇所の例

*1(財)鉄道総合技術研究所 コンクリート構造研究室 研究員 工修 (正会員)
 *2(財)鉄道総合技術研究所 コンクリート構造研究室 主任研究員 工修 (正会員)
 *3(財)鉄道総合技術研究所 コンクリート構造研究室 主任研究員 博(工) (正会員)
 *4 富士物産株式会社 営業部 部長

センサ (M) で検出する。励磁コイルと磁気センサ (M) との間で鉄筋が破断していると、破断部から先の鉄筋内の磁束が減少し、M 部における磁界の強さが小さくなるので破断の有無が判別できる。

そこで、磁気センサ M 部の磁界の強さ H_M (A/m) と励磁コイル E 部の磁界の強さ H_E (A/m) を測定し、 $C=H_M/H_E$ を求め、この値の大きさに破断の有無を評価する手法を用いた。鉄筋の破断があった場合、M 部の磁界の強さ H_M (A/m) が小さくなり、C の値も小さくなることとなる。本論文では、C を磁界の強さの比と呼ぶこととした。

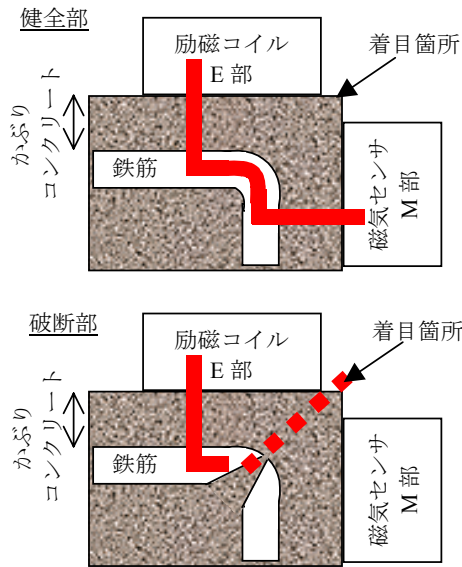


図-2 鉄筋破断検査装置の概要

3. 模擬試験体による検討

3.1 試験方法

模擬試験体を用いて、折曲げ加工部の健全な鉄筋と破断している鉄筋の識別について検討した。表-1に模擬試験体の基本条件を示す。これらは、アルカリ骨材反応により鉄筋破断が生じた構造物の多くが施工された昭和40年代後半から50年代前半の鉄道橋脚の標準かぶり(50mm(温暖地,平地)~75mm(寒冷地,山地))と鉄筋(直径13~32mmの軸方向鉄筋,直径6~19mmのスターラップ)を考慮している³⁾。

表-1 模擬試験体の基本条件

項目	諸元
軸方向鉄筋	D32@100~200mm
スターラップ	D16@150mm
かぶり	30~126mm

図-3に軸方向鉄筋が1本破断した模擬試験体の配筋図を示す。図-4に模擬試験体で使用した鉄筋曲げ加工部を切断した鉄筋を示す。これらを使用して実構造物の配筋に近い鉄筋組み立てを行い、この上に木版と発泡スチロールを置いてかぶりを変化させ試験を実施した。図-5に実験状況を示す。

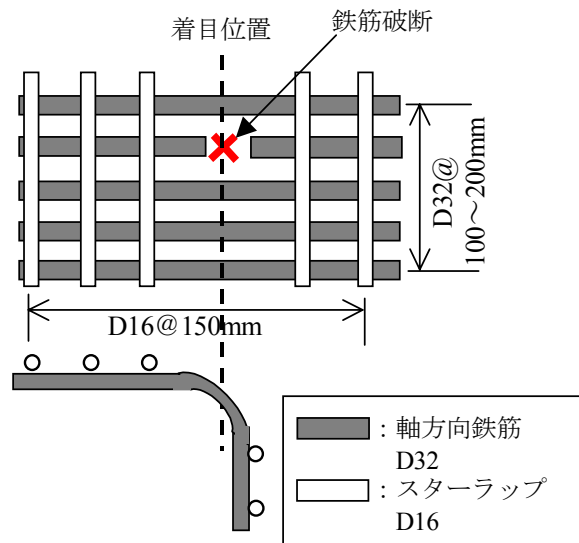


図-3 模擬試験体の配筋図

3.2 試験結果

(1) かぶり及び鉄筋間隔の影響

図-6にかぶりおよび鉄筋間隔による影響を示す。D32の軸方向鉄筋のみを配置し、軸方向鉄筋までのかぶりを標準的な鉄道構造物で考えられる30mmから120mmに変化させた。また、鉄筋間隔の影響を試験するために、軸方向鉄筋



図-4 模擬試験体の切断鉄筋

の間隔を 100mm, 150mm, 200mm と変化させた。

いずれの試験においても鉄筋が破断している場合、磁界の強さの比は小さくなり、破断していることが明確に判定できた。

かぶりが 80mm 程度より小さい値では、かぶりの増加に伴い磁界の強さの比が小さくなる。それより大きい値では磁界の強さの比が増加する傾向が見られた。また、鉄筋間隔が小さい場合も、かぶり 80mm を超えるあたりから磁界の強さの比が大きくなってきた。これらは、鉄筋間隔が密になり隣接する鉄筋の影響を受けたこと、かぶりが増加したため鉄筋までの距離が大きくなり、センサが複数の鉄筋の中から破断の有無を測定するような状況になったこと、などが影響していると推定される。

(2) 直交鉄筋の影響

実構造物では、軸方向鉄筋とせん断補強鉄筋など交差する鉄筋が配筋されている。D32 の軸方向鉄筋に D16 スターラップを 150mm 間隔で配置した。

図-7 に直交鉄筋の影響を示す。直交鉄筋が配置された場合、軸方向鉄筋の間隔を変化させても、破断している鉄筋の磁界の強さの比が小さくなり、やはり破断していることが判定できる。ここで、磁界の強さの比がマイナスとなったのは、スターラップなどの配筋状況により破断部から生じる逆の極性の磁界の影響があると推定される。

(3) せん断補強筋の破断

アルカリ骨材反応による鉄筋曲げ加工部の破断は、せん断補強筋においても報告されている。鉄道構造物における標準的なせん断補強筋は、直径 6~19mm の鉄筋を使用している。そこで D32 の軸方向鉄筋はすべて健全とし、150mm 間隔で配置されている D16 のスターラップの 1 本を破断した配筋に対して試験を行った。

図-8 に鉄筋径の影響を示す。せん断補強筋においても、破断している鉄筋の磁界の強さの比は小さい値となり、磁界の強さの比の傾向は



図-5 模擬試験体による実験状況

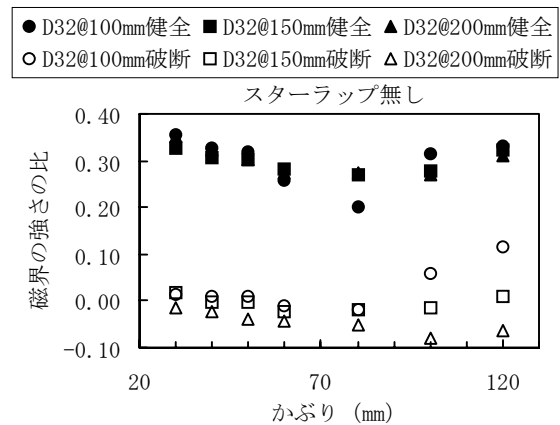


図-6 かぶり・鉄筋間隔の影響

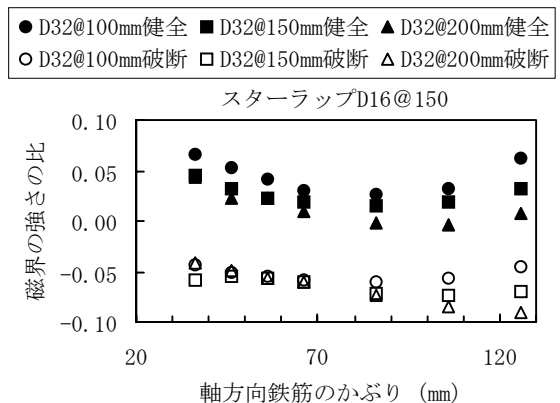


図-7 直交鉄筋の影響

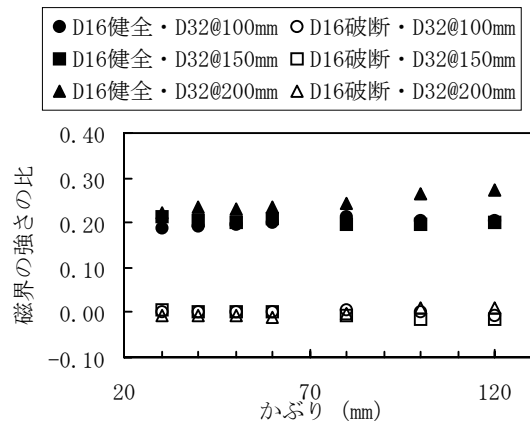


図-8 鉄筋径の違い

あまり変化しなかった。したがって、破断鉄筋の径の寸法影響は小さいと判断できる。

(4) 鉄筋段数の影響

図-9に軸方向鉄筋が2段配筋となった模擬試験体を示す。鉄道橋脚では軸方向鉄筋が2段配筋となり、鉄筋が密に配筋されている構造物も存在する。この場合、鉄筋間の相互の影響が大きく出ると考えられる。

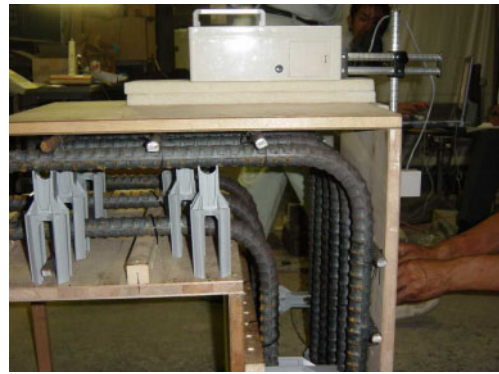


図-9 2段配筋の模擬試験体

図-10に2段配筋の場合の影響を示す。アルカリ骨材反応による鉄筋の破断が報告されているのは、コンクリート表面に近い上段の鉄筋である。そのため、D32の軸方向鉄筋を2段配筋し、上段に配置された軸方向鉄筋6本の中で1本が破断しているモデルで実験を行った。軸方向鉄筋の間隔は100mm、スターラップは150mm間隔である。

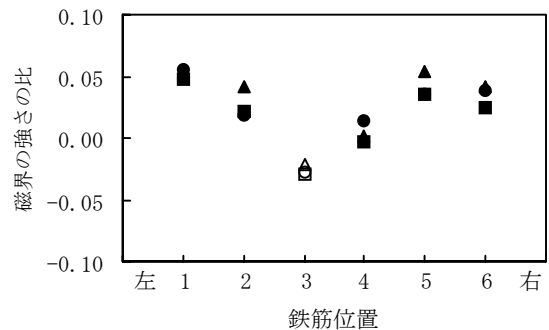
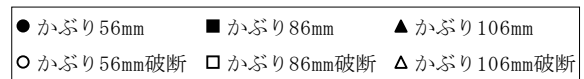


図-10 鉄筋段数の影響

図-10に示すように左から3番目の破断した鉄筋の磁界の強さの比は小さい結果となった。隣接する鉄筋に関して、健全でありながら若干小さめの値となったが、鉄筋間隔が狭いことなどが影響していると推定できる。かぶりによらずこの傾向は変わらない。

(5) 部分破断

鉄筋が完全に破断する前に非破壊検査によりその状態を把握することができれば、維持管理上有効である。

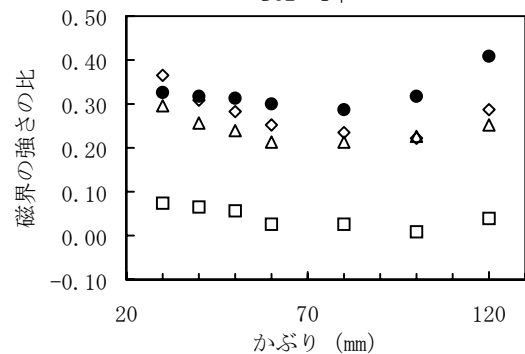
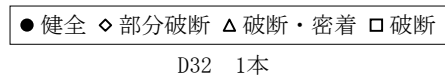


図-11 部分破断の影響

図-11に完全に破断した鉄筋を密着したものの、鉄筋断面の半分程度切断し部分破断した鉄筋を用いて測定した結果を示す。アルカリ骨材反応による鉄筋破断は、曲げ加工部の内側から発生するため、半分程度切断した鉄筋は曲げ加工部の内側から中央に向かって切断した⁴⁾。また、この実験は、軸方向鉄筋D32を1本だけ配置し測定した結果である。

破断した鉄筋を密着させた場合の磁界の強さの比は、健全な状態に比べて小さい値となっているが、完全に破断した状態の鉄筋に比べて大きな値となっている。部分破断した鉄筋に関しては、かぶりが小さい場合、磁界の強さの比が大きい結果となった。このように、部分破断し

ている鉄筋の磁界の強さの比は、健全な鉄筋の磁界の強さの比と全体的に近い値となり、現状では部分破断の判断は難しいと考えられる。

4. 鉄筋コンクリート梁による実験

4.1 試験方法

次に鉄筋コンクリート梁試験体を使用して、鉄筋破断検査装置の検証を行った。

図-12 に試験体を示す。D29 の軸方向鉄筋を上側に 2 本と下側に 4 本、D16 のスターラップを端部は 50mm、中間部は 100mm の間隔で配筋したもので、寸法は 300×450×2000mm の梁である。試験体 A はすべての鉄筋が健全であり、試験体 B は図-12 に「破断」と示している位置に、あらかじめ下側曲げ加工部が破断しているスターラップが、左右に各 5 本配置されている。

4.2 試験結果

図-13 に試験状況を、図-14 に試験結果を示す。図-13 では、試験体を上下逆にして梁底側の測定を行っている。

試験体 A については、磁界の強さの比が 0.02～0.07 程度であるが、破断部がある試験体 B では破断部の磁界の強さの比が-0.01～0.01 程度と小さい値を示し、鉄筋が破断していることに対応している。

なお、最端部を除く端部鉄筋の磁界の強さの比が大きめの値となっているのは鉄筋間隔が密なため、また、最端部のスターラップの値が前後より小さくなっているのは、最端部で片側のみの鉄筋となっているためと考えられる。

5. 鉄道構造物への適用性に関する検討

以上の結果から電磁現象による磁界の強さの比を用いて鉄筋破断の有無による非破壊検査を行う場合、鉄筋が健全な場合の磁界の強さの比と破断している場合の磁界の強さの比の相対的な差から判断できると考えられる。

図-15 に磁界の強さの比を用いた構造物の非破壊検査フローを示す。構造物での適用にあたっては、まず目視による調査を行い、破断が生じている可能性がある部材を選定する。つぎに設計図面から配筋状態を把握し、鉄筋探査機等を用いて鉄筋の位置を正確に測定する⁵⁾。その鉄筋位置に対して、今回提示した非破壊検査にて磁界の強さの比を求め、磁界の強さの比が小さい値となっている箇所が鉄筋破断の生じている箇所と考えられる。事前にその部材の配筋モデルを作成し、健全な状態の磁界の強さの比

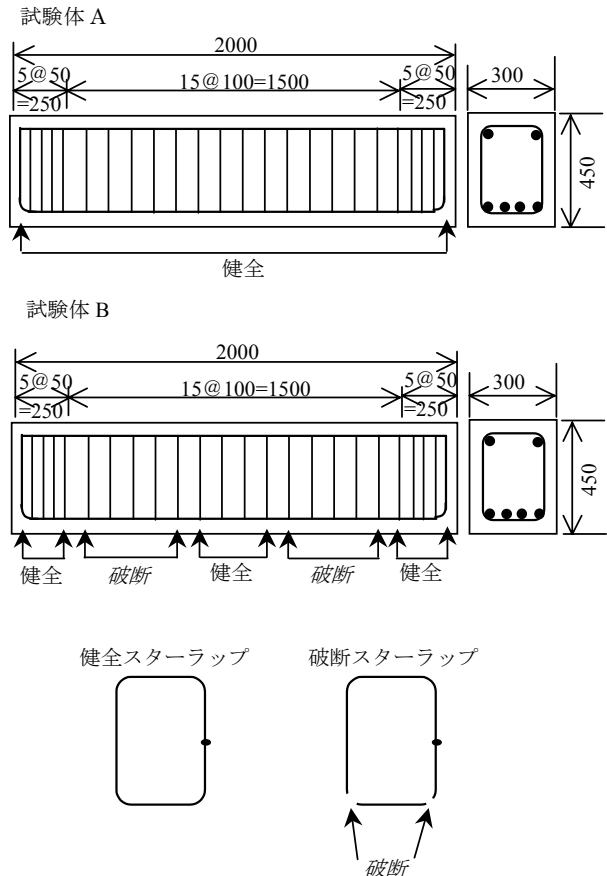


図-12 鉄筋コンクリート試験体配筋 (単位: mm)



図-13 鉄筋コンクリート試験状況

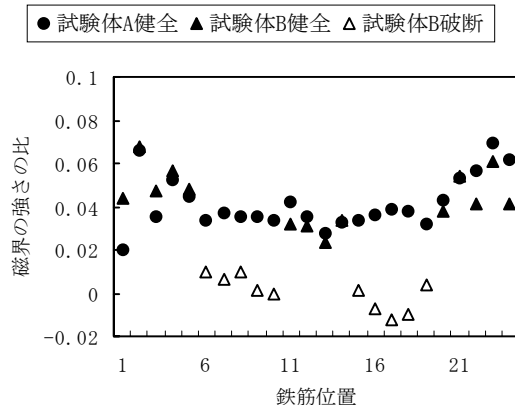


図-14 鉄筋コンクリート試験体結果

と比較できれば、相対的な判断を行いやすくなる。探査により絞られた箇所ではつり出し補修作業を行うこととなるので、構造物への影響も限定することができる。

6. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 電磁現象を利用し、磁界の強さの比を利用することで、鉄筋曲げ加工部の健全部と破断部の判定が可能である。
- (2) 軸方向鉄筋 1 段とせん断補強筋を組み合わせた配筋に対しては、鉄筋間隔、直交鉄筋の影響に係わらず、破断部は明確に判定できる。
- (3) 軸方向鉄筋 2 段とせん断補強筋を組み合わせた配筋に対しては、鉄筋破断の判定はできるが、上記 (2) に比べて精度は落ちる。
- (4) 部分破断している鉄筋、破断しているが密着している鉄筋は、健全部のばらつきと同等になり、判別が難しい。

本研究の結果が、今後の鉄道構造物における耐久性設計及び維持管理の一助となれば幸いである。

謝辞

本研究を行うにあたって、富士物産株式会社および株式会社メトロンに多大なるご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会アルカリ骨材反応対策小委員会：アルカリ骨材反応による鉄筋破断が生じた構造物の安全性評価（中間報告），土木学会誌，pp.83-84，2003.9

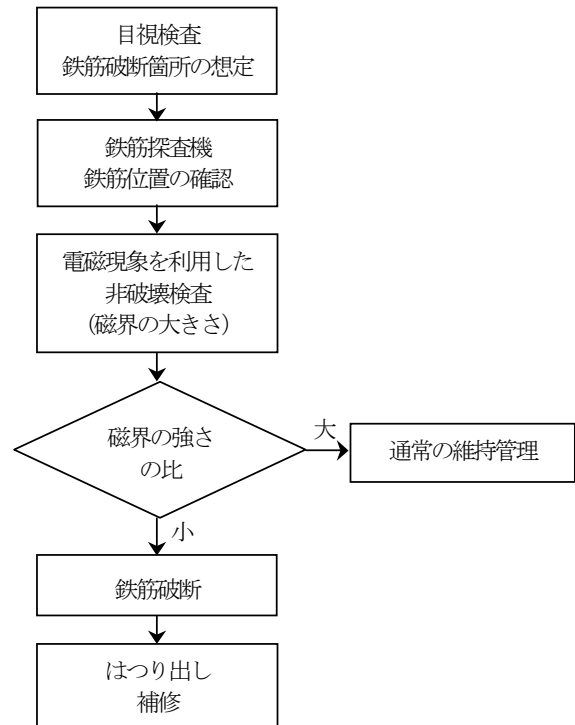


図-15 電磁現象を利用した非破壊検査フロー

- 2) 野村倫一，葛目和宏，藤原規雄：ASR による鉄筋破断に関する非破壊調査，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.2013-2018，2004
- 3) 土木学会：国鉄建造物設計標準解説 鉄筋コンクリート構造物および無筋コンクリート構造物，pp.85-94，1974.11
- 4) 鳥居和之，池富修，久保善司，川村満紀：ASR 膨張によるコンクリート構造物の鉄筋破断の検証，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，pp.595-600，2001
- 5) 東川孝治，曾我部正道，井上裕司，谷村幸裕：鉄筋探査機の鉄道構造物への適用に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.1497-1502，2002